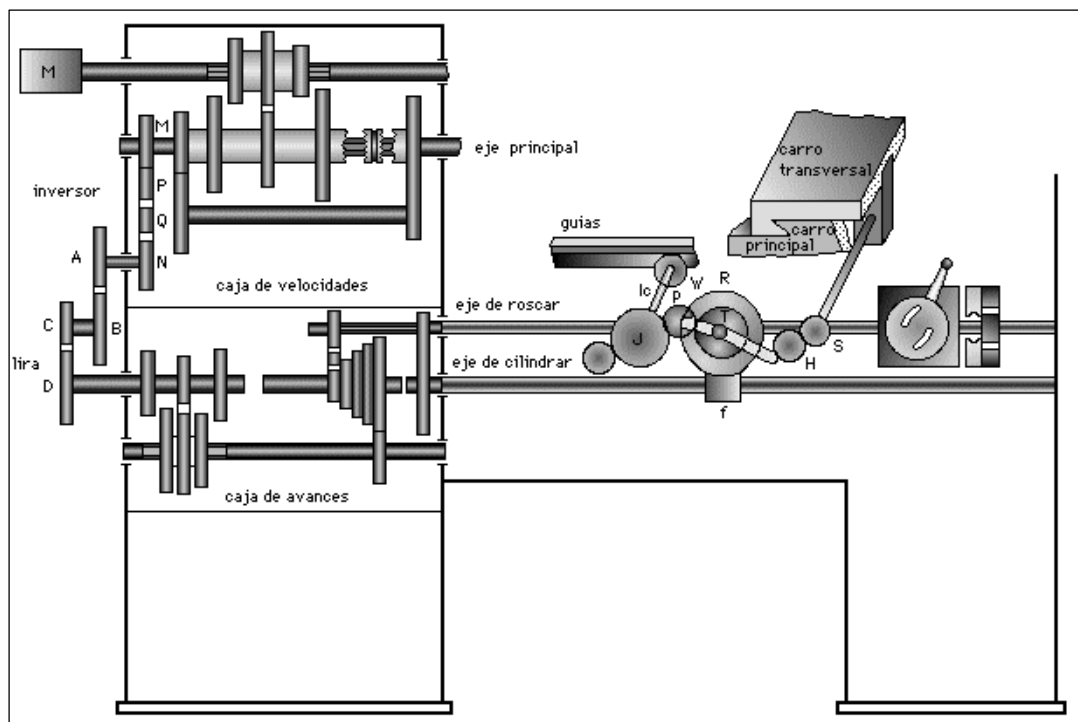


## ESQUEMAS CINEMÁTICOS DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTA

Autores: Dr. C. Roberto Pérez Rodríguez  
Dra. C. Ana María Quesada Estrada  
M. C. Luis Wilfredo Hernández González



**Tabla de Contenido**

<b>Nr.</b>	<b>Denominación</b>	<b>pág</b>
1.	Introducción	2
2.	Concepto de relación de transmisión	3
3.	Relación de transmisión de una cadena cinemática compleja	6
4.	Esquema cinemático. Ecuación de la cadena cinemática	7
5.	Gama de revoluciones y de avances	9
6.	Ejemplo de la caja de velocidad del Torno 1K62	10
7.	Referencias Bibliográficas	13

## 1. Introducción

Como se conoce las máquinas herramientas están formadas por un conjunto de mecanismos que se encargan de transmitir el movimiento desde el órgano motriz al órgano de trabajo. Los elementos que intervienen en la transmisión, tales como dos poleas conectadas, dos ruedas engranadas, y otros, se denominan eslabones cinemáticos.

Cada elemento cinemático se puede representar gráficamente por medio de símbolos, lo cual es muy útil para el estudio de las máquinas herramientas.

El movimiento es transmitido por los elementos cinemáticos de un árbol a otro. El número de r.p.m. de un árbol conducido depende del número de vueltas en esa unidad de tiempo del árbol conductor y esa dependencia se caracteriza por la relación de transmisión.

## 2. Concepto de relación de transmisión [1]

El número de r.p.m. de un árbol conducido depende del número de vueltas en esa unidad de tiempo del árbol conductor y esta dependencia se caracteriza por la relación de transmisión. Si  $n_1$  es el número de vueltas del árbol conductor y  $n_2$  las r.p.m. del árbol conducido la relación de transmisión entre los árboles se muestra en (1).

$$i = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

### Transmisión por correa y poleas (Figura 1).

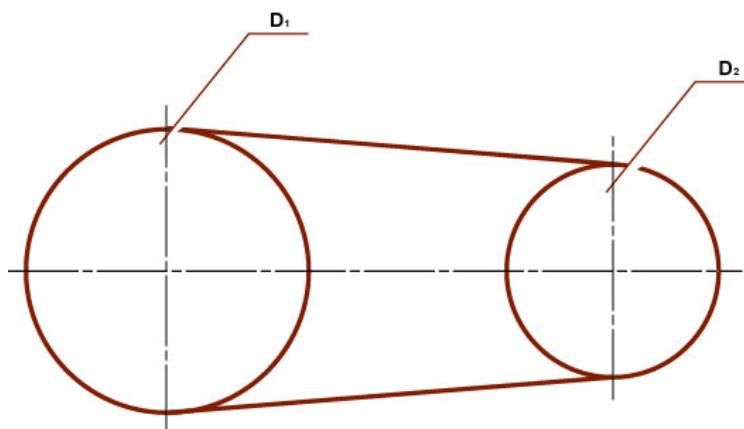


Fig. 1. Transmisión por polea y correa [1].

La velocidad periférica se muestra en (2).

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min}) \quad (2)$$

Pero como ésta es igual en ambas poleas (3) y considerando el resbalamiento de la correa en la polea, se obtienen las ecuaciones (4) y (5).

$$\frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{1000} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_2}{1000} \quad (3)$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (4)$$

$$i = \frac{D_1}{D_2} \cdot 0,985 \quad (5)$$

Donde:

$D_1$ : diámetro de la polea conductora (mm)

$D_2$ : diámetro de la polea conducida (mm)

Mediante la ecuación (5) se calcula también la relación de transmisión para las transmisiones por fricción.

### **Transmisión por ruedas dentadas [1]**

Partiendo de las condiciones de igualdad de las velocidades periféricas (Figura 2), se obtienen (6), (7) y (8), donde  $m$  es el módulo de la transmisión dentada.

$$\frac{\pi \cdot m \cdot Z_1 \cdot n_1}{1000} = \frac{\pi \cdot m \cdot Z_2 \cdot n_2}{1000} \quad (6)$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (7)$$

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (8)$$

Donde:

$Z_1$  y  $Z_2$ : números de dientes de las ruedas conductoras y conducidas.

Con esta misma fórmula se calcula la relación de transmisión para la transmisión por cadenas.

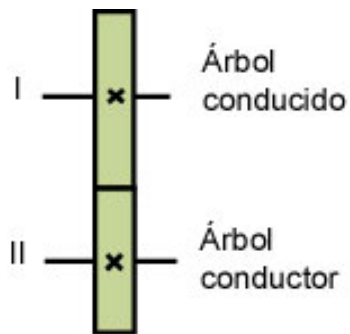


Fig. 2. Transmisión por dos ruedas dentadas.

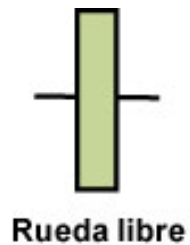


Fig. 3. Ruedas dentada libre.



Fig. 4 Rueda dentada con chaveta guía.

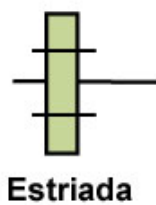


Fig. 5 Rueda dentada unida al árbol con estrías.

Generalmente se desea conocer  $n_{II}$  conociendo  $n_I$  e  $i$ ,  $n_{II} = n_I i$ , donde  $i$  representa la relación de transmisión total desde el árbol conductor hasta el árbol al cual se le calcula la frecuencia de rotación. O sea,  $i_t = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots i_m$

### Transmisión rueda y correa sin fin [1]

$$i = \frac{K}{Z} \quad (9)$$

Donde:

K: número de entradas del tornillo.

Z: número de dientes de la rueda.

### 3. Relación de transmisión de una cadena cinemática compleja [1]

La cadena cinemática compleja consta de varios elementos sencillos (simples), integrados en orden sucesivo, ver Figura 6.

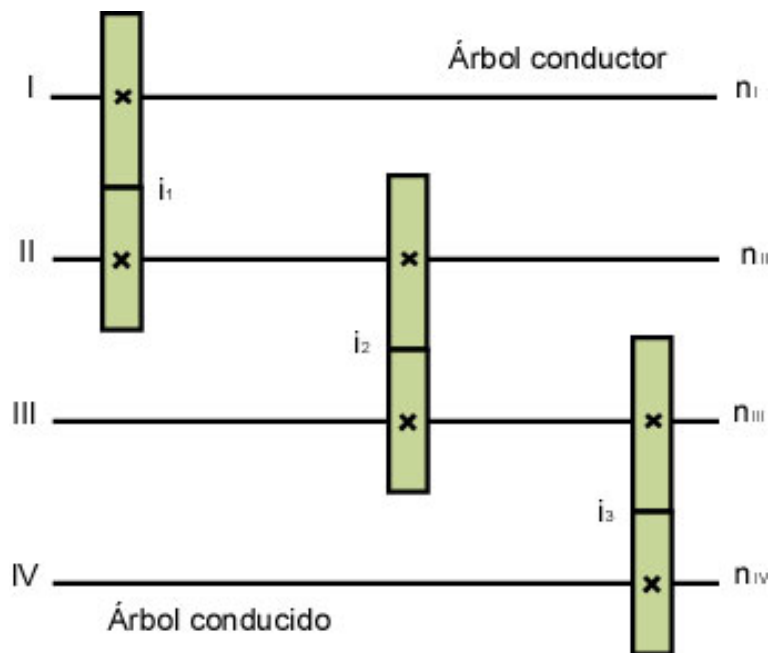


Fig. 6. Cadena cinemática compleja [1].

Supongamos que el árbol I es el motriz. La relación de transmisión de la cadena se muestra en (10).

$$i_t = \frac{n_{IV}}{n_I} \quad (10)$$

$$n_{IV} = n_I i_t$$

$$n_{II} = n_I i_t$$

$$n_{III} = n_{II} \cdot i_2 = n_I \cdot i_1 \cdot i_2$$

$$n_{IV} = n_{III} \cdot i_3 = n_I \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot i_3$$

Entonces (11):

$$i_t = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots i_n \quad (11)$$

Por lo que la relación de transmisión de la cadena cinemática compleja es igual al producto de las relaciones de transmisión de las cadenas simples.

Para el caso de la relación de transmisión con piñón intermedio, la rueda intermedia (parásita)  $Z_2$  está situada entre las ruedas conductora y conducida ( $Z_1$ ,  $Z_3$ ).

$$i_t = i_1 \cdot i_2 = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_2}{Z_3} \quad (12)$$

$$i_t = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (13)$$

La utilización de un piñón intermedio no influye en la magnitud de la relación de transmisión, el piñón solo cambia el sentido de rotación del árbol conducido.

#### 4. Ecuación de la cadena cinemática [1]

La transmisión del movimiento desde el motor eléctrico hasta el órgano portador de la herramienta o de la pieza, se realiza a través de la llamada cadena cinemática. La misma puede tener eslabones constantes y cambiables.

Para el cálculo de las cadenas cinemáticas se emplea la fórmula que se obtiene de la ecuación (14).

$$n_{cd} = n_{cr} \cdot i \quad (14)$$

Donde:

$n_{cr}$ : es el número de revoluciones por minuto del árbol conductor.

$n_{cd}$ : es el número de revoluciones por minuto del árbol conducido.

$i$ : relación de transmisión general de la cadena cinemática.

Esta fórmula expresa la correlación entre los movimientos de los eslabones iniciales y final de una cadena cinemática y se llama ecuación del balance cinemático de la cadena. La misma se emplea ampliamente para el cálculo de velocidades del movimiento principal, del avance y para la determinación de la

relación de transmisión de los eslabones (escalones) de afinado de la cadena cinemática para el cálculo del número de dientes de las ruedas intercambiables de la guitarra.

Para los cálculos y estudio de las cadenas cinemáticas de las máquinas herramienta es muy práctico emplear las fórmulas estructurales, las que representan, convencionalmente, la trayectoria del movimiento, el orden de los eslabones y su relación entre sí.

### Esquema cinemático

Por ello analizaremos la caja de velocidad del torno 1616 (Figura 7) y plantearemos la fórmula estructural:

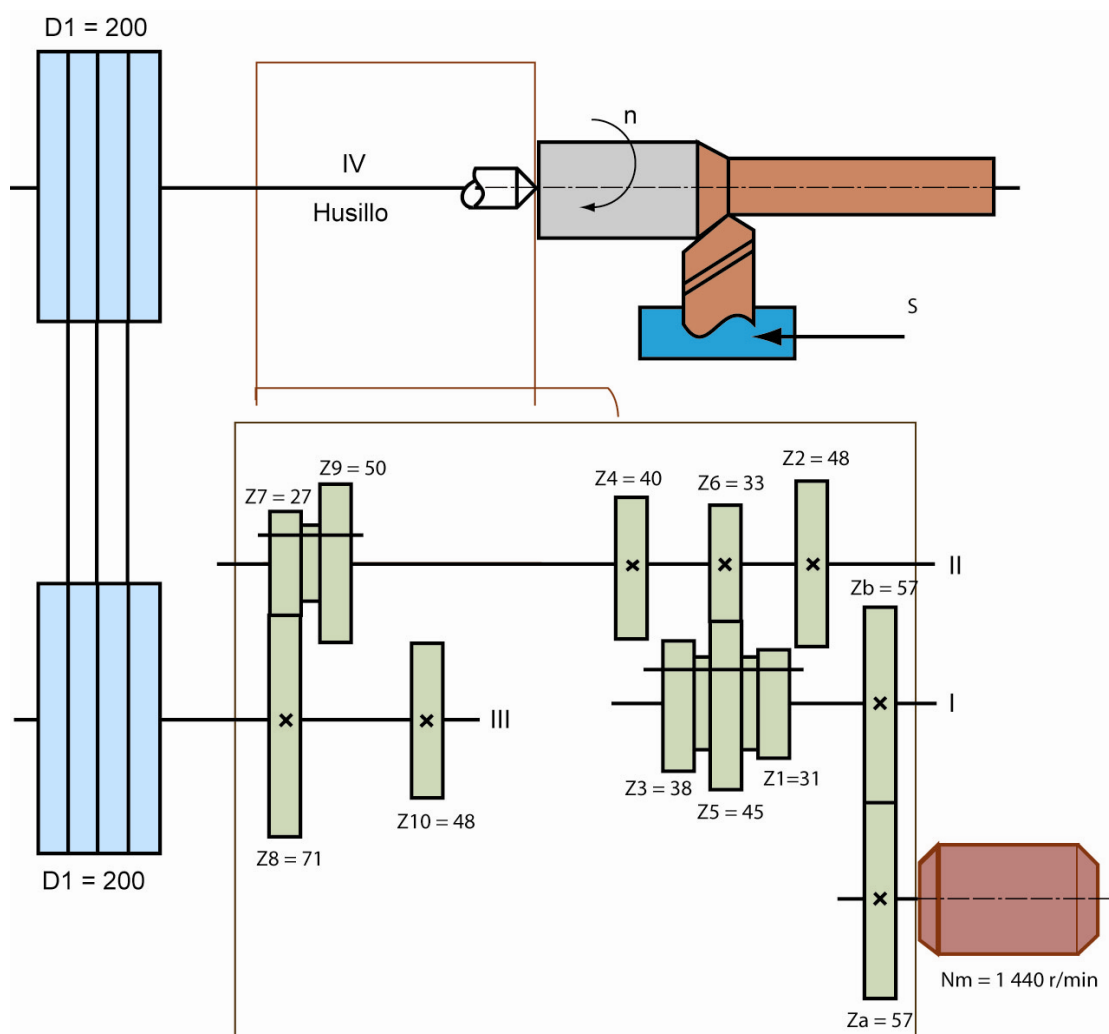


Fig. 7. Esquema cinemático de la caja de velocidad del torno 1616 [1].



Por ejemplo, para la caja anterior la fórmula estructural de la cadena cinemática se muestra en (15).

$$N_h = n_m \cdot \frac{Z_a}{Z_b} \text{ (I)} \cdot \frac{\frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \frac{Z_5}{Z_6}}{\frac{Z_7}{Z_8} \cdot \frac{Z_9}{Z_{10}}} \text{ (II)} \cdot \frac{Z_7}{Z_8} \text{ (III)} \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot 0,985 \text{ (IV)} \quad (15)$$
$$1 \times 1 \times 3 \times 2 \times 1 = 6 \text{ revoluciones diferentes} \quad (16)$$

Para determinar el número diferente de velocidades de la caja, en este caso, se multiplican las posibilidades de cambio entre cada árbol según (16). Si se utilizan los valores reales la fórmula estructural se muestra en (17).

$$N_h = 1\,440 \text{ r/min} \cdot \frac{57}{57} \text{ (I)} \cdot \frac{\frac{31}{47} \cdot \frac{38}{40} \cdot \frac{45}{33}}{\frac{71}{50} \cdot \frac{48}{48}} \text{ (II)} \cdot \frac{27}{50} \text{ (III)} \cdot \frac{200}{200} \cdot 0,985 \text{ (IV)} \quad (17)$$

Sobre la base de la fórmula estructural, se puede conocer fácilmente la ecuación del balance cinemático de la cadena para cualquier número de r/min del husillo, por ejemplo, para la rotación más alta se obtiene según (18).

$$n_{\text{máx}} = 1\,440 \cdot \frac{57}{57} \cdot \frac{45}{33} \cdot \frac{50}{48} \cdot \frac{200}{200} \cdot 0,985 = 2\,014 \text{ r/min} \quad (18)$$

## 5. Gama de regulación de revoluciones y de avance [1]

Definamos el concepto de gama de regulación de revoluciones ( $R_n$ ) y ( $R_s$ ). Al determinar las características técnicas de la máquina fueron establecidos los valores límites de los números de revoluciones del husillo  $n_{\text{mín}}$  y  $n_{\text{máx}}$  y de los avances  $s_{\text{mín}}$  y  $s_{\text{máx}}$ .

La relación de los valores límites de los números de revoluciones del husillo o de los recorridos dobles se llaman gama de regulación de los números de revoluciones (19).

$$R_n = \frac{n_{\text{máx}}}{n_{\text{mín}}} \quad (19)$$

$$n_{\text{máx}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{máx}}}{\pi \cdot D_{\text{mín}}}$$

$$n_{\text{mín}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{mín}}}{\pi \cdot D_{\text{máx}}}$$

$$R_n = \frac{n_{\text{máx}}}{n_{\text{mín}}} = \frac{V_{\text{máx}} \cdot D_{\text{máx}}}{V_{\text{mín}} \cdot D_{\text{mín}}} = R_v \cdot R_d$$

Donde:

$R_v$  y  $R_d$ : son la gama de regulación de la velocidad corte y de los diámetros de elaboración respectivamente.

La relación de los valores límites de los avances se llama gama de regulación de los avances se obtiene por (20).

$$R_s = \frac{S_{\text{máx}}}{S_{\text{mín}}} \quad (20)$$

$R_n$  y  $R_s$  dependen de la aplicación de la máquina, del carácter del proceso tecnológico que se desarrolla en ella, del tipo de herramienta de corte y en especial del grado de universalidad de la máquina; cuando más universal es la máquina que se proyecta, más amplia es la nomenclatura de las herramientas que en ella se utilizan y mayor la gama de  $R_n$  y  $R_s$ .

## 6. Ejemplo de la caja de velocidad del Torno 1K62 (Figura 8) [1]

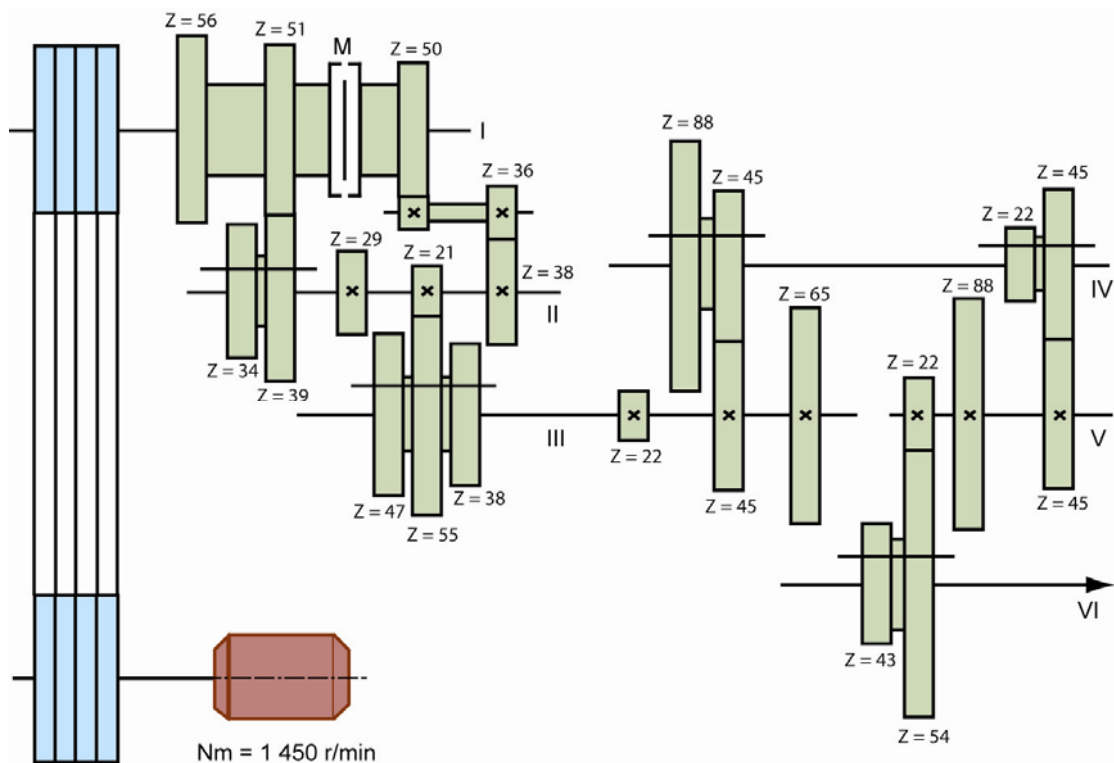


Fig. 8. Esquema cinemático de la caja de velocidad del torno 1K62 [1].

El movimiento se transmite desde un motor eléctrico trifásico de potencia  $N = 10$  kW y  $n = 1\,450$  r/min , a través de las poleas trapezoidales de diámetros 142 y 254 mm respectivamente.

Desplazando a la izquierda el embrague M queda fijo el bloque 56 - 51 al árbol I, transmitiéndose al husillo 24 velocidades hacia delante.

Los bloques de ruedas dentadas 34 - 39 y 47 - 55 - 38, permiten, al desplazarse, seis velocidades en el árbol III, las que pueden pasar directamente al husillo a través de las ruedas dentadas 65 y 43, siendo las seis rotaciones más altas del husillo (desde 630 hasta 2 000 r/min ).

Si el bloque 43 - 54 se desplaza a la derecha, se obtienen las velocidades reducidas al pasar el movimiento por el tren reductor (árboles IV y V) dando las cuatro relaciones de transmisión 1:1, 1:4, 1:4, 1:16. Puede verse que dos de estas relaciones coinciden, entonces el husillo puede recibir los tres campos de

variaciones de las rotaciones siguientes: de 200 a 650, de 50 a 160 y de 12,5 a 40 r/min , cada uno de ellos compuesto de seis revoluciones diferentes.

La ecuación cinemática para el movimiento principal se observa en (21).

$$n_h = 1\,450 \text{ r/min} \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot (I) \frac{51}{39} \frac{55}{29} (II) \frac{22}{88} \frac{22}{88} (IV) \frac{27}{54} (VI) \quad (21)$$

$\frac{34}{38}$      $\frac{47}{38}$      $\frac{45}{45}$      $\frac{45}{45}$      $\frac{65}{34}$   
 $\frac{50}{24}$      $\frac{36}{38}$

12 rotaciones inversas

6 rotaciones directas

Para la cadena larga (de baja velocidad):

$$n_h = 1\,450 \text{ r/min} \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot (I) \frac{51}{39} \frac{55}{29} (II) \frac{22}{88} \frac{22}{88} (IV) \frac{27}{54} (VI) \quad (21)$$

$\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$   
 1    ·    1    ·    1    ·    2    ·    3    ·    2    ·    2    ·    1 = 24

Para la cadena corta (de alta velocidad):

$$n_h = 1\,450 \text{ r/min} \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot (I) \frac{51}{39} \frac{55}{29} (II) \frac{22}{88} \frac{22}{88} (IV) \frac{27}{54} (VI) \quad (21)$$

$\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$      $\downarrow$   
 1    ·    1    ·    1    ·    2    ·    3    ·    1 = 6

En total, sumando ambas, se obtienen 30 revoluciones, pero existen 6 valores repetidos, por lo que en realidad resultan 24 revoluciones diferentes.

Los valores mínimos de las relaciones de transmisión se colocan en la parte superior de la cadena, así, para el valor de  $n_{\min}$  se multiplican las fracciones superiores para los valores constantes (22).

$$n_{\min} = 1450 \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot \frac{51}{39} \cdot \frac{21}{55} \cdot \frac{22}{88} \cdot \frac{22}{88} \cdot \frac{27}{54} = 12,5 \text{ r/min} \quad (22)$$

De la misma forma, el valor máximo de rotación será según (23).

$$n_{\max} = 1450 \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot \frac{56}{34} \cdot \frac{38}{38} = 2\,000 \text{ r/min} \quad (23)$$

La gama de revoluciones se determina según (24).

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{2000}{12,5} = 160 \quad (24)$$

Si se desplaza el embrague M hacia la derecha (Figura 8), se obtienen 12 rotaciones inversas. La ecuación cinemática para el movimiento de inversión se observa en (25).

$$n_h = 1450 \text{ r/min} \cdot \frac{142}{254} \cdot 0,985 \cdot \text{(I)} \frac{50}{24} \cdot \frac{36}{38} \cdot \text{(II)} \frac{21}{55} \cdot \frac{29}{47} \cdot \frac{38}{38} \cdot \text{(III)} \frac{22}{88} \cdot \frac{45}{45} \cdot \text{(IV)} \frac{22}{88} \cdot \frac{45}{45} \cdot \text{(V)} \frac{27}{54} \cdot \text{(VI)} \quad (25)$$
$$1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 = 12$$

### **Referencias Bibliográficas**

1. Nikoláev, A., Máquinas Herramienta. Tomo I, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1985, 345 p.